

Thermally insulated electrical fuse with good behaviour towards temporary overloads

Publication number: FR2638566

Publication date: 1990-05-04

Inventor: CHAPUT FREDERIC; ROSSELLO ALAIN BERNARD

Applicant: CEHESS TECHNOLOGIES (FR)

Classification:

- international: *H01H69/02; H01H85/041; H01H85/00; H01H85/18; H01H69/00; H01H85/00; (IPC1-7): H01H85/18; H01H85/165*

- european: H01H69/02; H01H85/041B

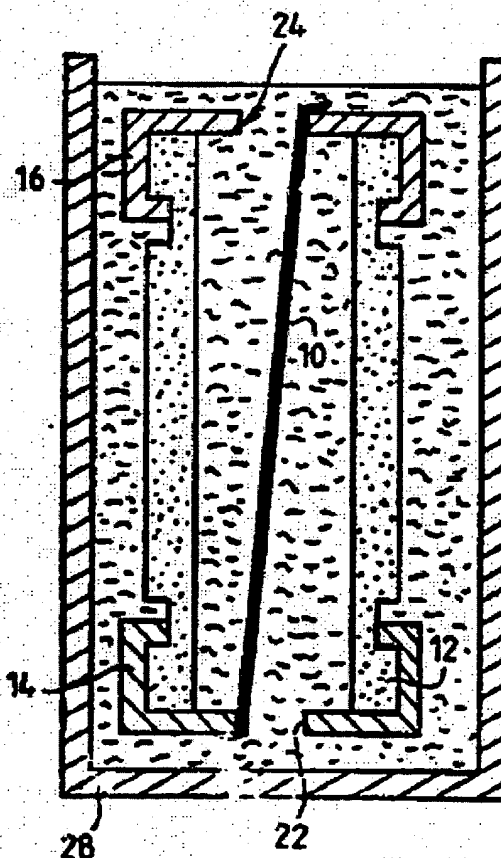
Application number: FR19880014325 19881103

Priority number(s): FR19880014325 19881103

Report a data error here

Abstract of FR2638566

The invention relates to electrical fuses and more particularly to fuses which have a low specific power consumption and good behaviour towards current overloads of short duration. To improve the behaviour towards brief current overloads the insulation between the actual fuse component 10 and its environment is improved by filling the protective body 12 of the fuse with a thermal insulator which is an aerogel. This aerogel is preferably a silica and/or alumina aerogel obtained by forming an alcogel by a sol-gel process starting with alkoxides and by drying the alcogel under conditions which do not result in shrinkage of the alcogel structure. The formation of the aerogel takes place in situ in the fuse housing.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication : **2 638 566**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① N° d'enregistrement national : **88 14325**
⑤① Int Cl⁹ : H 01 H 85/18, 85/165.

①② **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②② Date de dépôt : 3 novembre 1988.

③① Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 18 du 4 mai 1990.

⑥① Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : Société dite : CEHESS TECHNOLOGIES.
Société anonyme. — FR.

⑦② Inventeur(s) : Frédéric Chaput ; Alain Bernard Rossello.

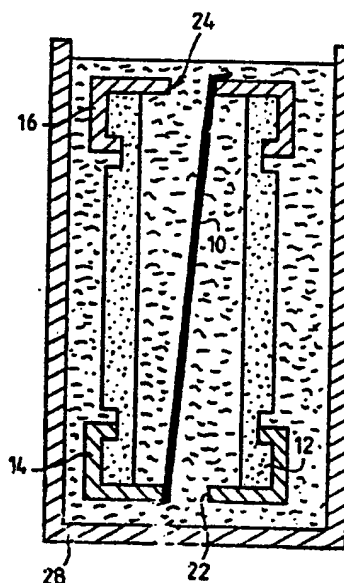
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet Flechner.

⑤④ Fusible électrique thermiquement isolé ayant une bonne tenue aux surcharges temporaires.

⑤⑦ La présente invention concerne les fusibles électriques, et plus particulièrement les fusibles ayant une faible consommation propre de puissance et une bonne tenue aux surcharges de courant de courte durée.

Pour améliorer la tenue aux surcharges de courant brèves, on améliore l'isolation entre l'élément fusible proprement dit 10 et son environnement, en remplissant le corps de protection 12 du fusible avec un isolant thermique qui est un aérogel. Cet aérogel est de préférence un aérogel de silice et/ou d'alumine, obtenu par formation d'un alcogel par un procédé sol-gel à partir d'alkoxydes, et par séchage de l'alcogel dans des conditions n'entraînant pas de rétraction de la structure de l'alcogel. La formation de l'aérogel est faite *in situ* dans le boîtier du fusible.



FR 2 638 566 - A1

1

FUSIBLE ELECTRIQUE THERMIQUEMENT ISOLE
AYANT UNE BONNE TENUE AUX SURCHARGES TEMPORAIRES

La présente invention concerne les fusibles électriques, et plus particulièrement les fusibles ayant une faible consommation propre de puissance et une bonne tenue aux surcharges de courant de courte durée.

5 L'invention s'applique tout particulièrement aux fusibles miniatures pour la protection de circuits électroniques contre des surintensités qui peuvent être assez faibles.

10 Dans beaucoup d'applications, il faut que le fusible résiste et ne fonde pas en cas de surcharge de courant brève; au contraire, il faut qu'il fonde en cas de surcharge de courant durable, même si cette surcharge est d'intensité relativement faible.

15 Pour ces applications, on est amené à définir un facteur de temporisation, qui exprime la tenue du fusible aux surcharges et qui est le rapport entre deux courants capables de faire fondre le fusible :

- un courant Ifa qui fait fondre le fusible en un temps court de quelques millisecondes,
- 20 - et un courant Ifb qui fait fondre le fusible en un temps très long pouvant être de l'ordre d'une fraction d'heure à plusieurs heures.

25 Le courant Ifa est le courant de fusion dans des conditions adiabatiques, le temps de fusion étant suffisamment bref pour qu'aucun échange thermique entre l'élément fusible et l'extérieur n'ait eu le temps de se produire.

30 Le courant Ifb représente au contraire un courant de fusion à l'équilibre thermique, l'augmentation de température du fusible étant suffisamment lente pour que

le fusible puisse être en permanence considéré comme étant en équilibre thermique avec son environnement.

Le facteur de temporisation Ifa/Ifb est une mesure de l'aptitude du fusible à résister aux surcharges de courant brèves. Plus il est élevé, plus le fusible est résistant.

On a découvert que le facteur de temporisation est d'autant plus élevé que la conduction thermique à partir de l'élément fusible est plus faible.

Des tentatives ont été faites pour améliorer l'isolation thermique entre l'élément fusible et l'environnement extérieur. Les propositions faites présentent des inconvénients qui sont soit la difficulté de mise en oeuvre, soit tout simplement une insuffisance de qualité de l'isolation obtenue. En effet, il faut considérer que beaucoup de matériaux habituels que l'on peut utiliser pour faire de l'isolation thermique ne sont pas forcément meilleurs que l'air, surtout lorsqu'on les utilise dans des corps de fusibles très petits. D'autres sont meilleurs que l'air mais sont relativement difficiles à mettre en oeuvre pour un faible accroissement de qualité finale des fusibles réalisés. Selon l'invention, on propose d'améliorer l'isolement thermique en utilisant comme matériau d'isolation thermique un aérogel.

Les aérogels sont des matériaux solides de structure très fragile, dont les capacités d'isolation thermique sont beaucoup plus élevées que celles de la plupart des matériaux connus; leur mise en oeuvre a priori difficile n'a pas encore permis de les utiliser pour faire véritablement de l'isolation thermique là où on pourrait en avoir besoin; mais dans le cas des fusibles de petite dimension, on a découvert que cette mise en oeuvre était possible, compte-tenu notamment de leur petite taille,

compte tenu aussi du fait que l'élément fusible est bien enfermé dans un corps de protection, et enfin compte tenu du fait qu'il s'avère possible, selon une caractéristique de l'invention, de former l'aérogel in situ dans le boîtier du fusible. L'accroissement de tenue aux surcharges des fusibles ainsi réalisés est tout-à-fait considérable et justifie la mise en oeuvre d'une technique a priori complexe.

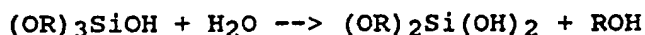
On propose donc selon l'invention un fusible électrique comportant un élément conducteur fusible destiné à être traversé par un courant, et un corps de protection contenant l'élément fusible, caractérisé en ce que, entre l'élément fusible et le corps de protection est placé un isolant thermique qui est un aérogel monolithique. Un aérogel au sens où on l'entend dans la présente invention est un matériau solide inorganique monolithique dont la structure, de porosité élevée, est obtenue par un procédé sol-gel suivi d'un enlèvement de solvant dans des conditions n'entraînant pas de rétraction de la structure.

Selon une caractéristique importante de l'invention, on réalise la formation de l'aérogel monolithique directement dans le boîtier du fusible autour de l'élément fusible déjà en place dans le boîtier.

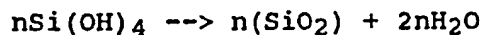
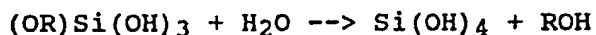
Les aérogels sont en général obtenus par procédé sol-gel à partir d'alkoxydes de métaux. Il peut s'agir d'alkoxydes de silicium ou d'aluminium mais aussi d'alkoxydes de nombreux autres éléments de la classification périodique des éléments, y compris des alkoxydes multiples (alkoxydes doubles par exemple) et des mélanges d'alkoxydes dans lesquels un élément principal (l'oxyde de silicium par exemple, ou l'oxyde d'aluminium ou un mélange des deux) sert à bâtir la structure de base et un ou plusieurs autres éléments

servent de dopant pour conférer des propriétés particulières à l'aérogel réalisé.

Les réactions principales du procédé sol-gel sont des réactions d'hydrolyse et de polycondensation qui peuvent
 5 être décrites à titre d'exemple pour un alkoxyde de silicium par les expressions suivantes dans lesquelles OR désigne un groupement alkoxy, R étant un radical organique CH_3 ou C_2H_5 ou C_3H_7 ou C_4H_9 , etc. :



15



20 La réaction d'ensemble donne un alcogel, c'est-à-dire une structure gélatineuse constituée par un squelette fragile d'oxyde de silicium très poreux, imprégné des deux solvants libérés au cours des réactions ci-dessus, c'est-à-dire de l'eau et de l'alcool ROH correspondant à
 25 l'alkoxyde de départ.

Pour un aérogel d'alumine et non de silice, on partirait d'un alkoxyde d'aluminium, de formule Al(OR)_3 , pour aboutir à de l'alumine Al_2O_3 .

La viscosité du gel est de préférence inférieure ou
 30 égale à 50 centipoises.

Un séchage de l'alcogel sans précaution conduirait à un effondrement de la structure gélifiée, compte tenu des forces de capillarité énormes qui s'exerceraient lors de l'élimination du solvant.

L'aérogel est le corps solide résultant du séchage de l'alcogel en gardant intacte la structure de l'alcogel, c'est-à-dire en prenant des précautions pour éviter une contraction de la structure pendant le séchage.

5 Comme la structure de l'alcogel est très légère et très poreuse, mais complètement imprégnée des solvants alcool et eau auxquels sont ajoutés éventuellement des additifs de synthèse du gel (acides par exemple), la structure résultante de l'aérogel après élimination des solvants
10 est une structure très poreuse (porosité jusqu'à 95 à 99 %) et très fragile.

Elle a d'excellentes propriétés d'isolement thermique; on peut évaluer sa conductivité thermique à environ 0,004 à 0,015 W/m.K à 280 degrés K (température
15 ordinaire). Sa densité est de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes par m³ (pour une porosité de l'ordre de 95 à 99 %), réglable par la concentration des réactifs de départ. Si une porosité plus faible est
20 désirée (par exemple entre 95% et 75%), la densité sera de l'ordre de une centaine à quelques centaines de kilogrammes par m³.

La structure fine de l'aérogel comprend des particules de matière (silice, ou alumine le plus souvent, ou une combinaison des deux, ou des oxydes d'autres éléments
25 métalliques ou non métalliques, notamment le titane), ces particules ayant un diamètre de l'ordre d'un nanomètre. Les particules sont agglomérées en chaînes moléculaires très légères formant un squelette poreux. Le diamètre des pores peut être de l'ordre de 5 à 100
30 nanomètres. La surface spécifique développée des pores est de l'ordre de 200 à 1500 mètres carrés par gramme de matière.

Une méthode pour effectuer le séchage de l'alcogel sans effondrement de la texture poreuse consiste à annuler la

tension superficielle du solvant dans les pores de la structure, en éliminant l'interface liquide-gaz responsable de cette tension superficielle.

- Ceci est réalisé en effectuant l'étape de séchage dans
- 5 les conditions hypercritiques (température et pression dépassant un seuil critique pour lequel le solvant liquide à éliminer se transforme en vapeur fluide dont les molécules individuelles se déplacent pratiquement librement).
- 10 Cette étape de séchage se déroule normalement dans un autoclave. On introduit dans l'autoclave l'alco gel à sécher et une quantité de solvant suffisante pour que la pression critique soit atteinte.
- Une autre solution consiste à introduire une pression
- 15 initiale de gaz inerte (argon, azote) en même temps qu'on chauffe jusqu'à ce que la température critique des solvants soit légèrement dépassée. Les solvants, qui s'échappent alors sans tension superficielle de la structure poreuse, sont évacués lentement sous forme de
- 20 vapeur à température constante puis condensés sur un réfrigérant. La pression diminue pendant l'évacuation; quand l'évacuation est terminée, on refroidit l'autoclave.
- A titre d'exemple, un ordre de grandeur de pression
- 25 critique est 80 bars et un ordre de grandeur de température critique est 240°C. La température pendant l'évacuation peut alors être 260°C.
- Les solvants qu'on peut utiliser sont par exemple le méthanol, l'isopropanol, et l'éthanol pour lesquels les
- 30 conditions hypercritiques sont respectivement 240°C/78 bars, 235°C/48,5 bars, et 243°C/65,1 bars.
- Le solvant récupéré au cours du séchage peut être réutilisé pour la préparation des précurseurs organiques, c'est-à-dire des alkoxydes de départ.

On peut également utiliser pour le séchage de l'alco gel un procédé d'échange de solvant, pour remplacer le solvant contenu dans l'alco gel par un autre solvant dont l'élimination par séchage sera plus aisé.

- 5 Ainsi, on peut effectuer une opération de substitution de l'alcool imprégnant la structure poreuse par du gaz carbonique liquide dont les température et pression critiques sont respectivement 31°C et 75 bars. Le séchage dans les conditions hypercritiques sera alors
10 plus aisé.

Selon l'invention, on forme l'aérogel monolithique directement dans le boîtier du fusible, autour de l'élément fusible, pour n'avoir pas à manipuler l'aérogel (qui est un solide) en risquant de détériorer
15 sa structure de porosité élevée dans une opération de remplissage qui serait délicate.

Pratiquement, on remplit le boîtier avec une solution d'eau et d'alcool qui contient les alkoxydes de base dont le matériau structurant principal est par exemple
20 le silicium (pour aboutir à un aérogel de silice). Cette solution peut également contenir éventuellement des additifs de synthèse tels que des acides. On place ensuite l'ensemble dans un autoclave à partir duquel on établit les conditions de température et de pression
25 nécessaires d'abord aux réactions d'hydrolyse et de condensation, puis au séchage. Les réactions d'hydrolyse et de condensation peuvent être conduites en dehors de l'autoclave.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention
30 apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente un fusible selon l'invention dans un premier mode de réalisation;

- la figure 2 représente une étape de fabrication de ce fusible;
- les figures 3 à 6 représentent des variantes de réalisation du fusible selon l'invention, et
- 5 - la figure 7 représente des courbes qui illustrent l'intérêt de la présente invention.

Le fusible représenté à la figure 1 comprend un élément fusible proprement dit 10 constitué le plus généralement par un fil métallique à section circulaire. Par exemple,
10 il s'agit d'un fil cylindrique tréfilé d'alliage argent-cuivre (50% de cuivre, 50% d'argent) de diamètre 15 micromètres, et de longueur 20 millimètres).

Le fil fusible est placé à l'intérieur d'un corps extérieur de protection 12 isolant électriquement, par
15 exemple en céramique. Dans l'exemple représenté, le corps de protection est tubulaire et a un diamètre extérieur d'environ 5 millimètres.

A chaque extrémité du corps de protection est placée une électrode respective 14, 16. Dans l'exemple représenté,
20 les électrodes sont des embouts métalliques cylindriques sertis sur le tube de céramique. Le fil fusible est tendu entre ces deux électrodes auxquelles il est raccordé électriquement; par exemple les électrodes 14 et 16 sont percées dans l'axe du tube et chaque
25 extrémité du fil est soudée à une soudure d'embout, respectivement 18, 20, placée à l'extérieur du corps de protection en regard des perçages 22, 24 des électrodes. Dans l'exemple représenté à la figure 1, tout l'espace intérieur au corps de protection 12 est rempli d'un
30 aérogel monolithique 26. L'aérogel est à la fois en contact avec le fil fusible 10 et avec la paroi intérieure du corps de protection 12. L'aérogel est formé in situ.

Des essais ont montré que le courant de fusion minimum

de ce fusible à l'équilibre thermique est abaissé d'environ 40 % par rapport à un fusible identique sans aérogel. Au contraire le courant de fusion adiabatique, pour des temps de fusion inférieurs à 30 millisecondes, reste pratiquement inchangé. Le facteur de tenue aux surcharges de courant est donc amélioré d'environ 40 pour cent.

On a représenté à la figure 2 une étape de fabrication du fusible de la figure 1. Avant soudure des embouts de soudure 18, 20, le corps de protection 12 contenant le fil fusible 10 est immergé dans un récipient 28 contenant les réactifs de départ du procédé sol-gel, c'est-à-dire un alkoxyde et de l'eau, et éventuellement un alcool, dans des proportions dépendant de la porosité désirée pour l'alcogel intermédiaire donc pour l'aérogel final.

La solution alkoxyde + eau (+ alcool éventuellement) remplit complètement l'intérieur du corps de protection. l'étape d'hydrolyse - condensation conduisant à la formation de l'alcogel peut s'effectuer selon plusieurs schémas :

1) on place le récipient 28 dans les conditions de pression et de température propres à l'élaboration de l'alcogel puis on effectue le séchage de l'alcogel en autoclave selon un procédé tel que décrit plus haut, dans des conditions hypercritiques de pression et température,

2) on place le récipient 28 dans un autoclave, dans lequel lors de la montée en température et en pression s'effectue conjointement l'étape d'hydrolyse - condensation et l'étape de séchage proprement dite.

Les fusibles sont par la suite extraits sans difficulté de la "gangue" d'aérogel. Grâce à cette formation d'aérogel monolithique in situ, on garde intacts les

propriétés isolantes de l'aérogel, ce qui serait difficile si on devait introduire l'aérogel dans le corps de protection alors qu'il a déjà une consistance solide. La formation in situ de l'aérogel a en outre
5 l'avantage de préserver les qualités du fil fusible lui-même qui est fragile.

Outre les alkoxydes de base parmi lesquels Si(OR)_4 , Ti(OR)_4 , Zr(OR)_4 , et Al(OR)_3 sont les plus faciles à mettre en oeuvre, on peut ajouter à la solution de
10 départ des éléments dopants, sous forme d'alkoxydes également. Ces matériaux peuvent être par exemple le niobium, le magnésium, l'antimoine, le titane, le lanthane, le germanium, l'hafnium, etc. sous forme de leurs alkoxydes Nb(OR)_5 , Mg(OR)_2 , Sb(OR)_5 , Ti(OR)_4 ,
15 La(OR)_3 , Ge(OR)_4 , Hf(OR)_4 . Ils peuvent également être introduits sous forme de sels solubles dans les solvants courants; ces sels seront de préférence des nitrates de l'élément considéré. Ces éléments dopants feront partie de la structure de l'aérogel après séchage; ils
20 permettent de modifier certaines propriétés thermiques de la matrice.

Il est important de noter qu'il est nécessaire d'obtenir un aérogel monolithique à l'issue du procédé mis en oeuvre. Cet aérogel est obtenu à partir d'au moins un
25 alkoxyde, sachant que tous les alkoxydes connus ne peuvent donner naissance à un aérogel monolithique. Par contre, pour les dopants, tous les alkoxydes sont utilisables, qu'ils aboutissent ou non à un aérogel monolithique. L'utilisation de sels solubles en tant que
30 dopants permet d'étendre les possibilités de dopage car la classe des sels utilisables est plus large que celle des alkoxydes. Tous ces aspects sont bien connus de l'homme de métier qui aurait à mettre en oeuvre l'invention et ne seront donc pas décrits plus en

détails.

La figure 3 illustre un autre exemple de réalisation de l'invention. Les éléments ayant la même fonction qu'à la figure 1 sont désignés par les mêmes références sur toutes les figures. L'élément fusible 10 est un fil de nickel de diamètre 19 micromètres déposé dans un équipement fusible radial. Le fil est soudé aux extrémités de deux tiges 32 et 34 formant électrodes; ces tiges sont des poteaux traversant une embase 36 qui forme une partie du corps de protection 12. Le corps de protection 12 est composé de cette embase 36 et d'un capot 38.

Avec un fusible du type de la figure 3, on a effectué des essais dans lesquels l'aérogel était une combinaison à 50% de silice et 50% d'alumine, formée in situ à partir d'un mélange d'alkoxydes de silicium et d'aluminium. Là encore, les essais effectués ont montré une amélioration d'environ 40% de la tenue aux surcharges du fusible, mesurée par le facteur de temporisation.

Bien d'autres réalisations sont possibles sans sortir du cadre de l'invention. L'invention s'applique en effet par exemple également à une réalisation du type de la figure 4. Dans cet exemple, l'aérogel ne remplit pas complètement le corps de protection, mais il tapisse sa paroi intérieure. Il y a donc une isolation thermique entre le fil fusible 10 et l'environnement extérieur au fusible.

De même, l'invention s'applique à une réalisation du type de la figure 5 dans laquelle l'aérogel 26 ne remplit pas tout l'espace libre à l'intérieur du corps de protection 12 mais enrobe complètement le fil fusible 10 à la manière d'un manchon.

Une autre réalisation envisageable est représentée à la figure 6, dans laquelle l'aérogel monolithique sert non

pas à remplir un corps de protection mais plutôt à constituer un substrat isolant servant de support à l'élément fusible. Le support est composé de deux parties qui sont une embase de céramique 40 recouverte
5 par un corps d'aérogel solide 26 dans lequel est noyé le fil fusible 10. Les embouts métalliques 14 et 16 constituant les électrodes du fusible délimitent latéralement le fusible et enferment partiellement le substrat et le fusible. La protection est complétée par
10 un vernis 42, du côté non protégé par la céramique 40 ou par les embouts 14 et 16.

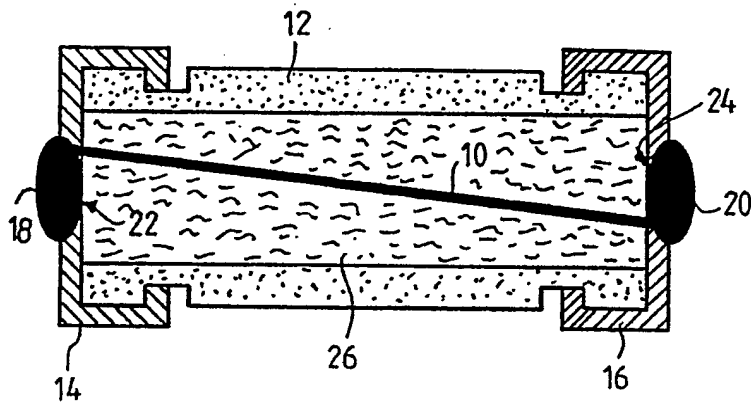
La figure 7 est un diagramme temps de fusion/courant en coordonnées logarithmiques qui montre l'amélioration apportée par la présente invention. Sur cette figure, la
15 courbe 30 représente le temps de fusion en fonction du courant pour un fusible dans l'air et la courbe 31 représente le temps de fusion en fonction du courant pour un fusible réalisé selon la présente invention. La comparaison de ces deux courbes 30 et 31 montre que pour
20 des temps de fusion supérieurs à 0,05 seconde environ, le courant de fusion est moins élevé dans un fusible selon l'invention que dans un fusible dont l'isolant est l'air. Ainsi, pour un temps de fusion de deux ampères, le courant de fusion est de 0,3 A environ dans l'air et
25 de 0,2 A environ dans un aérogel selon l'invention, ce qui améliore considérablement le facteur de temporisation.

REVENDEICATIONS

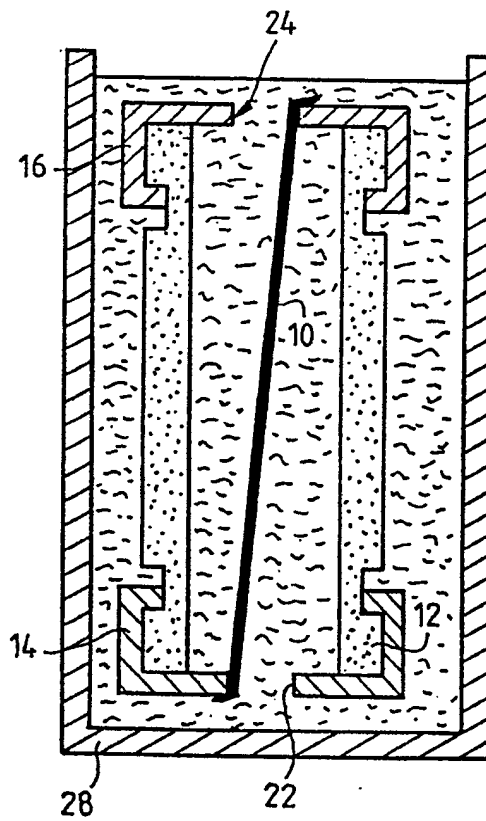
1. Fusible électrique comportant un élément conducteur fusible (10) destiné à être traversé par un courant, et un corps de protection (12) contenant l'élément fusible, caractérisé en ce que, entre l'élément fusible et le
5 corps de protection est placé un isolant thermique qui est un aérogel monolithique (26) constitué d'un matériau inorganique dont la structure, de porosité élevée, est obtenue par un procédé sol-gel suivi d'un enlèvement de solvant dans des conditions n'entraînant pas de
10 rétraction de la structure.
2. Fusible selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'aérogel monolithique est le résultat du séchage d'un alcogel, produit de la réaction d'un alkoxyde avec de l'eau, le séchage étant effectué dans des conditions
15 de température et de pression n'entraînant pas de rétraction de la structure.
3. Fusible selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'aérogel est obtenu à partir d'un alkoxyde simple ou multiple ou d'un mélange d'alkoxydes,
20 susceptibles de donner un aérogel monolithique.
4. Fusible selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'aérogel monolithique est un aérogel d'oxyde métallique ou non métallique.
5. Fusible selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en
25 ce que l'aérogel est un aérogel de silice ou d'alumine, ou une combinaison des deux.
6. Fusible selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'aérogel monolithique contient un ou plusieurs dopants sous forme d'alkoxyde susceptible
30 de donner un aérogel.

7. Fusible selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'aérogel monolithique contient un ou plusieurs dopants sous forme de sel soluble dans les solvants utilisés.
- 5 8. Fusible selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que les dopants sont choisis notamment parmi les oxydes des éléments suivants : niobium, magnésium, antimoine, titane, lanthane, germanium, hafnium.
9. Fusible selon l'une des revendications précédentes, 10 caractérisé en ce que l'aérogel est le produit d'un procédé sol-gel effectué in situ à l'intérieur du corps de protection du fusible.
10. Fusible selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'aérogel remplit la totalité de 15 l'espace intérieur du corps de protection.
11. Fusible selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'aérogel tapisse la paroi intérieure du corps de protection sans remplir complètement l'espace intérieur du corps de protection.
- 20 12. Fusible selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'aérogel enrobe l'élément fusible sans remplir complètement l'espace intérieur du corps de protection.
13. Fusible selon l'une des revendications 1 à 10, 25 caractérisé en ce que l'aérogel sert de support à l'élément fusible.

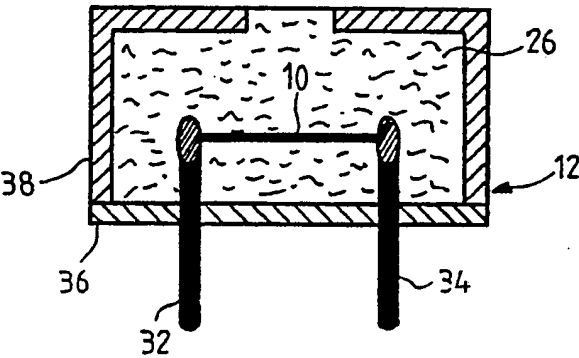
FIG_1



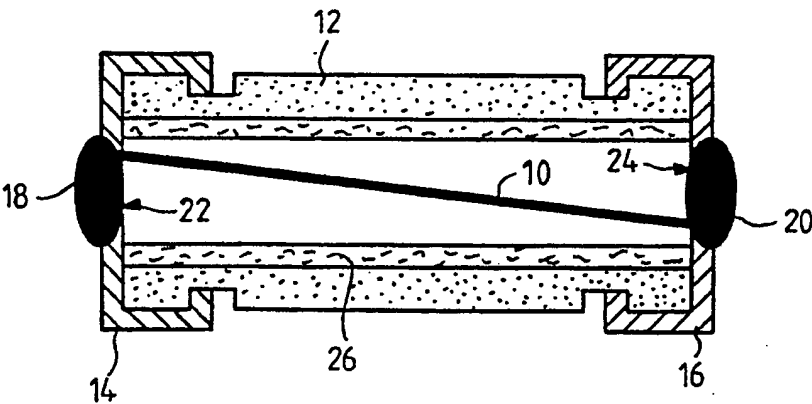
FIG_2



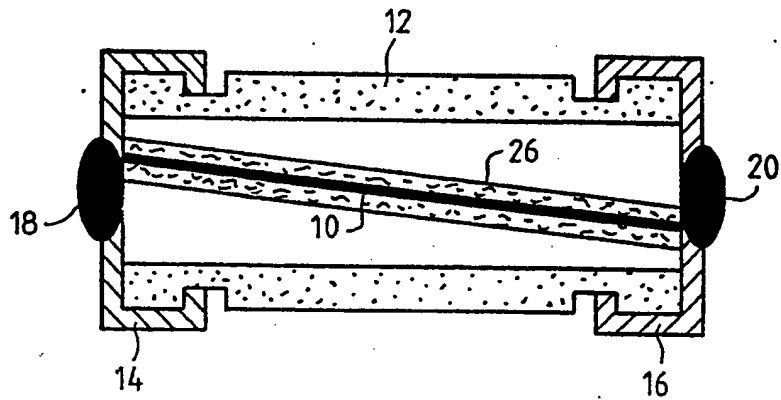
FIG_3



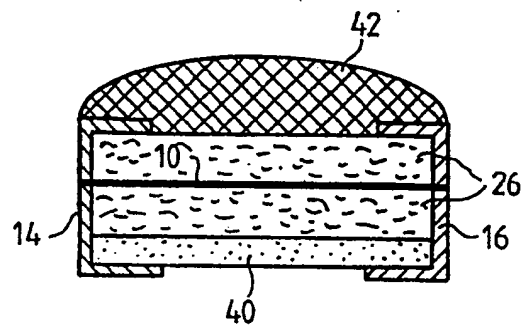
FIG_4



FIG_5



FIG_6



FIG_7

